

Article, Published Version

Straßer, Daniel; Döttling, Vera; Lensing, Hermann-Josef; Liesch, Tanja; Wang, Weishi; Goldscheider, Nico

Auswirkungen von Baumaßnahmen auf die Interaktion von Oberflächenwasser und Grundwasser

BAWMitteilungen

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102514>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Straßer, Daniel; Döttling, Vera; Lensing, Hermann-Josef; Liesch, Tanja; Wang, Weishi; Goldscheider, Nico (2016): Auswirkungen von Baumaßnahmen auf die Interaktion von Oberflächenwasser und Grundwasser. In: BAWMitteilungen 99. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 143-156.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Auswirkungen von Baumaßnahmen auf die Interaktion von Oberflächenwasser und Grundwasser

Effects of Dredging Works on Surface Water – Groundwater Interaction Processes

Dipl.-Geol. Daniel Straßer¹, Vera Döttling M. Sc.², Dr.-Ing. Hermann-Josef Lensing¹, Dr. rer. nat. Tanja Liesch², Weishi Wang M. Sc.³, Prof. Dr. rer. nat. Nico Goldscheider²

¹Bundesanstalt für Wasserbau, ²Karlsruher Institut für Technologie,

³Universität Potsdam

Durch Baumaßnahmen an Bundeswasserstraßen können signifikante Veränderungen der natürlichen Interaktionsprozesse zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser erzeugen werden. Speziell an Standorten von Uferfiltratwasserwerken ist deshalb sowohl ein umfangreiches Monitoringprogramm als auch eine genaue Prognose der Auswirkungen, bereits vor Baubeginn, unbedingt erforderlich. Eine Methode zur Quantifizierung und Prognostizierung solcher baulich bedingter Veränderungen stellen numerische Grundwasserströmungs- und Transportmodelle dar. Der Aufbau komplexer dreidimensionaler Modelle in hoher Qualität setzt jedoch die genaue Kenntnis von Untergrund und geohydraulischen Prozessen voraus. Aus diesem Grund ist in manchen Fällen die vorherige Erstellung von konzeptionellen Modellen erforderlich, um die standortspezifischen Charakteristika des Wasser- und Stoffaustausches zu untersuchen. In diesem Beitrag wird an einem Beispiel an der Unteren Havel Wasserstraße (UHW) bei Potsdam die Erstellung solcher numerischer Konzeptmodelle erläutert und die gewonnenen Erkenntnisse diskutiert.

Construction works on waterways can cause significant changes in the natural interaction processes between surface water and groundwater. Particularly in cases where waterworks are located close to surface waters both a comprehensive monitoring program and an accurate prediction of the changes are absolutely necessary. Numerical groundwater flow and transport models are one method of quantifying and predicting such changes. However, a detailed knowledge of the subsurface and the geohydraulic processes in the model domain are required to establish high quality complex

3D models. For this reason, setting up a preliminary numerical model may be required in some cases. This paper describes the setup and the results of a preliminary groundwater model of the area of a waterway in Potsdam (Germany).

1 Einführung *Introduction*

In der heutigen Zeit findet eine intensive Nutzung und Bewirtschaftung aller zugänglichen Wasservorräte statt (Schulz-Terfloth, 1987). Die maßgeblichen Einflussgrößen sind hierbei Be- und Entwässerungsmaßnahmen in der Landwirtschaft, industrielle Verwendung des Wassers sowie die Trinkwassernutzung. In Deutschland wird Trinkwasser zu fast zwei Dritteln aus Grund- und Quellwasser gewonnen (BMU, 2008). Der Vorgabe der EU-Richtlinie 2006/118/EG, durchgehend eine ausreichend gute Wasserqualität zu garantieren, kann hierbei nur durch kontinuierliches Monitoring der Rohwasserqualität sowie durch den Schutz und die Überwachung des Grundwassers in den jeweiligen Einzugsgebieten entsprochen werden. Zur Sicherstellung einer optimalen Trinkwasserversorgung ist ein umfangreiches Monitoring von Wasserwerksstandorten deshalb unumgänglich. Vor allem bei der Nutzung von Uferfiltrat zur Trinkwassergewinnung ist die genaue Kenntnis der relevanten Prozesse sowie der hydrogeologischen Randbedingungen an der Austauschfläche zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser von großer Bedeutung, weshalb speziell bei Baumaßnahmen an Oberflächengewässern die Veränderungen der grundwasserhydraulischen Verhältnisse genau zu beobach-

ten sind. Nur auf dieser Basis können gegebenenfalls rechtzeitig Maßnahmen zur Sicherung der Rohwasserqualität ergriffen werden.

Im Rahmen des Verkehrsprojektes Deutsche Einheit Nr. 17 wird u. a. der Nedlitzer Durchstich ausgebaut. Dieser Streckenabschnitt, der die Verbindung zwischen dem Jungfernsee und dem Weißen See herstellt und zur Unteren-Havel-Wasserstraße (UHW), gehört, liegt im Einzugsgebiet des Wasserwerks Potsdam-Nedlitz, im Norden der Stadt Potsdam. Das Wasserwerk Potsdam-Nedlitz liegt etwa 200 m südlich vom Kanaldurchstich und fördert Uferfiltrat zur Trinkwassergewinnung. Bedingt durch ein auf die Förderbrunnen des Wasserwerks gerichtetes hydraulisches Potenzialgefälle infiltriert Oberflächenwasser in den Grundwasserleiter.

Wie groß der Anteil des Oberflächenwassers an der Gesamtmenge des geförderten Wassers ist, hängt von einer Kombination unterschiedlicher geohydraulischer Faktoren ab, beispielsweise der Durchlässigkeitsverteilung im Untergrund selbst, oder auch der hydraulischen Durchlässigkeit der Gewässersohle, über die die Infiltration des Kanalwassers erfolgt. Aufgrund der günstigen geohydraulischen Randbedingungen wurde das Ausbauvorhaben durch ein Forschungsvorhaben ergänzt. Ziel dieser vertiefenden Untersuchungen war u. a. die Verbesserung des Verständnisses der komplexen geologischen, hydrogeologischen und hydrologischen Situation im Einzugsgebiet des Wasserwerks Potsdam-Nedlitz. Hierbei wurde ein besonderer Fokus auf die Interaktion von Oberflächenwasser und Grundwasser, im Speziellen die Infiltrationsvorgänge des Oberflächenwassers aus dem Nedlitzer Durchstich in den Untergrund, gelegt.

Wechselwirkungen zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser unterliegen häufig einer hohen räumlichen und zeitlichen Heterogenität. Zu einer Steigerung dieser komplexen Verhältnisse können Uferfiltratwasserwerke durch ihre ggf. stark schwankenden Entnahmeraten beitragen, sodass analytische Lösungsansätze hier nicht mehr angewandt werden können (Kühlers, 2012). In einem solchen Fall ist die Erstellung eines numerischen Modells von großem Nutzen. Der geologische und hydrogeologische Aufbau des betrachteten Untersuchungsgebiets bildet die Grundlage jeden numerischen Modells. Häufig liegen jedoch nur punktuelle Informationen, beispielsweise aus Aufschlussbohrun-

gen, vor. Aus diesem Grund ermöglicht nur ein grundlegendes und umfassendes geologisches Verständnis des Bearbeiters einen sinnvollen Aufbau eines hydrogeologischen Modells (DGG, 2010). Die Kenntnis über den lithologischen Aufbau des Untergrunds hilft bei der späteren hydrogeologischen Gliederung und der vertikalen Abgrenzung verschiedener grundwasserleitender und grundwasserstauender Horizonte. Mehrere lithologisch unterschiedlich definierte Einheiten können hierbei hydrogeologisch zu einer gemeinsamen Einheit zusammengefasst werden, wenn ihre hydraulischen Eigenschaften dies erlauben (Heeling, 2014).

Im Zuge der Modellerstellung für den Standort Potsdam Nedlitz wurde deshalb zunächst ein umfassendes (hydro-)geologisches Konzeptmodell des Untersuchungsgebiets erstellt. Hierfür fand eine Auswertung zahlreicher vorhandener Bohrprofile statt, um eine detailliertere Kenntnis über den geologischen Aufbau des Untergrunds zu erhalten. Darauf aufbauend wurden mehrere numerische GW-Strömungs- und Transportmodelle unterschiedlicher Komplexität entwickelt, um die GW-Strömungssituation vor Beginn der Maßnahme zu beschreiben. Die möglichst exakte Kenntnis dieser Ausgangssituation ist erforderlich, um die Auswirkung der Baumaßnahme auf die hydraulische Durchlässigkeit und die Filterwirkung der Gewässersohle und damit auf den Uferfiltratanteil und auf die Beschaffenheit des vom Wasserwerk Potsdam Nedlitz geförderten Rohwassers untersuchen und eindeutig interpretieren zu können.

2 Untersuchungsgebiet *Investigation area*

2.1 Standort *Location*

Der Nedlitzer Kanaldurchstich liegt im Bundesland Brandenburg am nördlichen Stadtrand von Potsdam im Stadtteil Nedlitz (Bild 1). Er wurde Anfang des 20. Jahrhunderts als Schifffahrtskanal angelegt, bildet den östlichsten Abschnitt des Sacrow-Paretzer Kanals und verbindet den Bereich der Niederungen des Jungfernsees im Osten mit dem Weißen See im Westen. Etwa 200 m südlich des Kanaldurchstichs liegt das Wasserwerk Potsdam-Nedlitz, in welchem Uferfiltrat zur Trinkwassergewinnung gefördert wird.

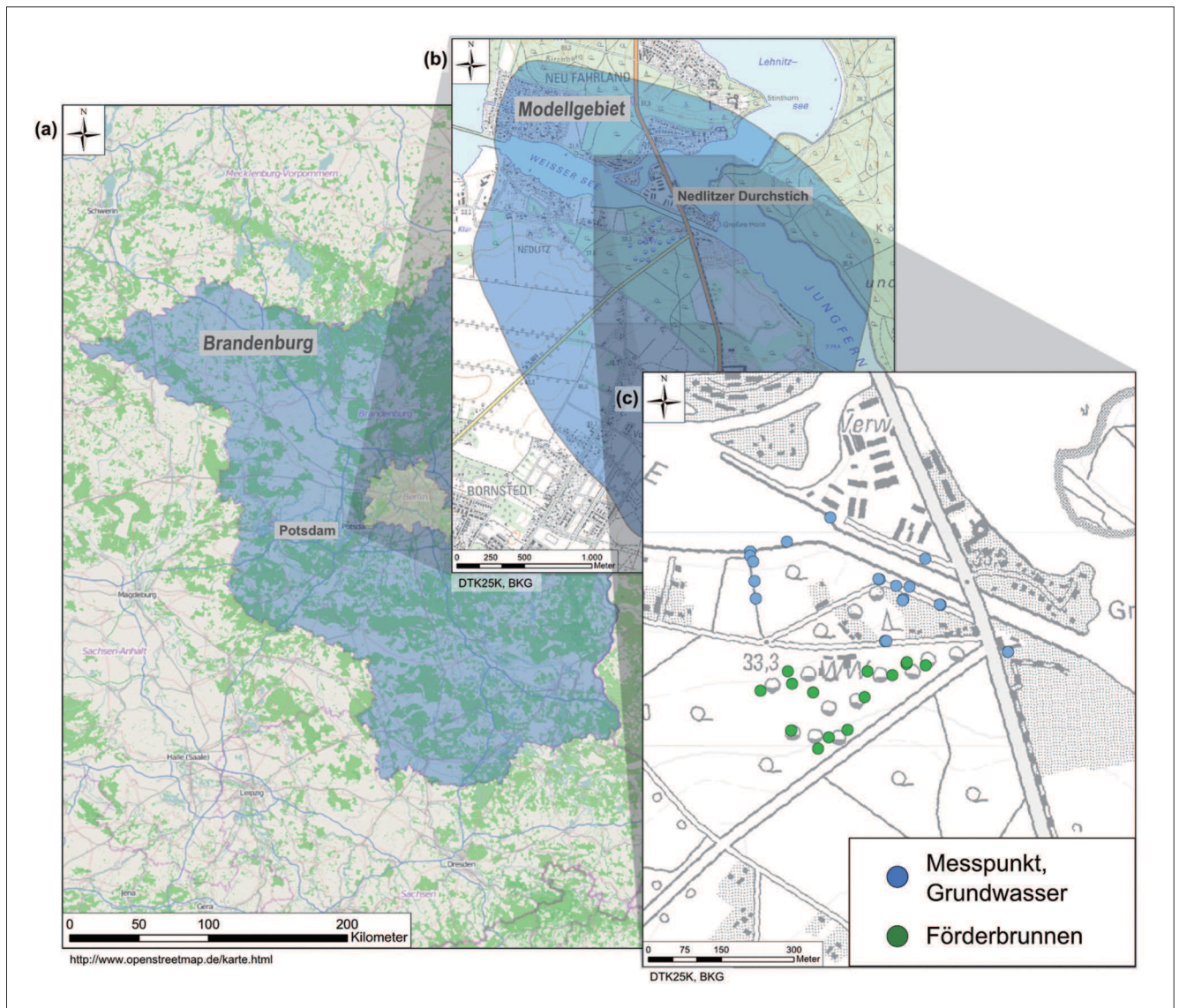


Bild 1: Lage des Untersuchungsgebiets im Norden von Potsdam (a); das Aussagegebiet (b) erstreckt sich über den Bereich zwischen dem Nedditz Durchstich und dem Wasserwerk Potsdam-Nedditz (c) (Quelle: Döttling, 2014)

Figure 1: Location of the investigation area to the north of Potsdam (a); the model area (b) covers the area between the Nedditz Canal and the waterworks at Potsdam-Nedditz (c) (Source: Döttling, 2014)

2.2 Geologie und Hydrogeologie Geology and hydrogeology

Die oberflächennahe Geologie im Bereich des Modellgebietes wurde hauptsächlich während der letzten Vereisungsphase, dem Weichsel-Glazial (BAW, 1999) und der vorhergehenden Saale-Eiszeit geprägt. Während dieser Gletschervorstöße kam es zur Ablagerung von Grundmoränenmaterial, das nachfolgend von fluvioglazialen Sedimenten überlagert wurde (BAW, 1999). Die unterschiedlichen Faziesbereiche – Grundmoräne, Endmoränenbogen und Niederungsgebiete sowie zusätzlich die beschriebenen glazial bedingten Stauchungen,

die im Gebiet stattgefunden haben, führten zu einer komplexen Verteilung der Lagerungsverhältnisse im Untergrund. Die Niederungen sind auf glaziale Schmelzwasserabflüsse zurückzuführen. Teilweise treten chaotische Lagerungsverhältnisse auf (LGBR, 2010). Dies hat auch aus hydrogeologischer Sicht eine komplexe Situation zur Folge (IHU, 2009). Neben grundwasserleitenden Komplexen sind zwischengeschaltet Geschiebemergellagen und tonige Lagen vorhanden – teilweise als kleinere Linsen, zum Teil auch über größere Bereiche hinweg. Auch eine maßgebliche Beeinflussung des Geschiebemergelhorizontes durch glaziale Schmelzwasserabflussrinnen ist wahrscheinlich.

Die (geo)hydraulischen Prozesse im Untersuchungsgebiet werden durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Einerseits werden sie vom natürlichen Abfluss von umliegenden Grundmoränenhochflächen in die jeweils nächstgelegenen Vorfluter beeinflusst. Andererseits ist die Infiltration von Oberflächenwasser in das Grundwasser – induziert vom Wasserwerk Potsdam-Nedlitz – ein wichtiger Faktor (IHU, 2009). In Teilen des Nedlitzer Durchstichs, vor allem aber im Bereich des Weißen Sees kann von einer ausgeprägten Kolmation der Gewässersohle ausgegangen werden, wodurch die Austauschprozesse zwischen Grund- und Oberflächenwasser maßgeblich gesteuert werden. Außerdem liegt eine Zerteilung des Aquifers in einen oberen (GWL I) und einen unteren (GWL II) Grundwasserkörper im gesamten Untersuchungsgebiet vor. Über weite Teile des Gebiets werden die Grundwasserleiter durch eine geringdurchlässige Geschiebemergellage hydraulisch getrennt. Die Förderbrunnen des Wasserwerks Potsdam-Nedlitz sind in GWL II verfiltert. GWL I ist ein ungespannter Aquifer mit einer wassererfüllten Mächtigkeit von ca. 0 m bis 3 m. Im GWL II liegen gespannte Druckverhältnisse vor, seine wassererfüllte Mächtigkeit beträgt 20 m bis 32 m (IHU, 2009). Die Grundwasserleiter weisen eine hydraulische Durchlässigkeit zwischen $1 \cdot 10^{-5}$ m/s und $5 \cdot 10^{-5}$ m/s auf (BAW, 1999).

2.3 Kanalausbau

Dredging works

Am Nedlitzer Durchstich wurden im Zeitraum zwischen Mai 2013 und Oktober 2013 Baumaßnahmen zur Vertiefung des Schifffahrtskanals durchgeführt. Hierbei wurde die Sohle des Kanaldurchstichs und Teile des Weißen Sees auf eine schiffbare Tiefe von 4 m vertieft. Zusätzlich wurden beidseits des Kanals die Böschungen erneuert.

3 Datengrundlage

Data basis

3.1 Aquiferparameter

Aquifer parameters

Die hydraulischen Parameter des Untergrundes stellen die Basis von numerischen Grundwasserströmungsmodellen dar. Im Vorfeld der Erstellung der Modelle

wurden deshalb vor Ort Pumpversuche durchgeführt (Döttling, 2014) um Informationen über die hydraulischen Durchlässigkeitseigenschaften des Untergrunds zu erhalten. Zusätzlich wurden die aus den Siebanalysen abgeleiteten k_f -Werte verwendet, um die Informationen zur Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeit im Modellgebiet zu verdichten.

3.2 Grund- und Oberflächenwasserstandsmessungen

Measurement of ground- and surface water level

Für die Kalibrierung von numerischen Grundwasserströmungsmodellen ist eine genaue Kenntnis der (Grund-) Wasserstandsentwicklung im Untersuchungsgebiet unbedingt erforderlich. Im weiteren Untersuchungsgebiet sind monatlich gemessene Grundwasserstände an 86 Messpunkten seit dem 4. Januar 2010 verfügbar. Die Messstellen sind in etwa gleicher Anzahl im oberen (GWL I) und im unteren (GWL II) Grundwasserleiter verfiltert. Zusätzlich wurden die Grundwasserstände an 16 Messstellen im Bereich zwischen Wasserwerk und Nedlitzer Durchstich durch digitale Wasserstandsdatenlogger aufgezeichnet. Daten täglich gemessener Wasserstände an den 13 Förderbrunnen des Wasserwerks liegen ebenfalls seit Anfang 2010 vor.

Seit 1980 wird zudem täglich der Wasserstand für die im Untersuchungsgebiet liegenden Oberflächengewässer erfasst. Für die Kalibrierung der numerischen Modelle wurde der Fokus auf die 16 Messstellen im näheren Untersuchungsgebiet zwischen Nedlitzer Durchstich und dem Wasserwerk gelegt.

3.3 Untergrundtemperaturmessungen

Measurement of surface and subsurface temperatures

Infiltrierendes Oberflächenwasser führt zur Wärmeübertragung in den angrenzenden Aquifer (Molina-Giraldo et al., 2011). Im Untersuchungsgebiet, in unmittelbarer Nähe zum Nedlitzer Durchstich, wurden 13 Temperaturmesslanzen am Nedlitzer Durchstich sowie 19 Temperaturmesslanzen am Weißen See installiert. Sie ermöglichen eine kontinuierliche Messung der Untergrundtemperatur in Ufernähe. Messdaten liegen

seit September 2012 (Messintervall: 10 Minuten) vor. Die Messlanzen sind vertikal in den Untergrund eingebracht. Durch die untereinander angeordneten Sensoren erhält man tiefenabhängig Bodentemperaturganglinien im Abstand von 1 m bis in eine Tiefe von etwa 15 m unter Gelände.

3.4 Förderraten der Wasserwerksbrunnen

Pumping rates

Vom Wasserwerk Potsdam-Nedlitz liegen für 14 Pumpbrunnen die täglich ermittelten Förderraten seit Januar 2010 vor.

4 2D-vertikal-ebenes Grundwasserströmungsmodell

2D groundwater flow model

4.1 Vorüberlegungen

Preliminary considerations

Für die spätere Erstellung komplexer dreidimensionaler Grundwasserströmungsmodelle ist es von großer Bedeutung, bereits im Vorfeld Überlegungen zu den vorherrschenden grundwasserhydraulischen Bedingungen im Modellgebiet anzustellen. Im Untersuchungsgebiet weisen unterschiedlich starke hydraulische Gradienten zwischen verschiedenen Messpunkten auf einen heterogenen Untergrund hin. Bei der Sichtung vorliegender Bohrkernansprachen bestätigte sich dieser Umstand. Aus diesem Grund wurde zunächst ein gesättigt-unge-sättigtes 2D-vertikal-ebenes Strömungsmodell erstellt, mit welchem sowohl hydraulische (stationär) als auch thermische (instationär) Konzeptstudien durchgeführt wurden. Die Lage des 2D-Schnitts ist in Bild 2 dargestellt. Die Länge der Profillinie entspricht einer realen Distanz von etwa 645 m. Im Bereich des senkrecht zum Nedlitzer Durchstich ausgerichteten Profils liegen Informationen aus Bohransprachen von vier Grundwassermessstellen, davon zwei Doppelmessstellen, sowie von einem Förderbrunnen vor (Bild 3). Neben einer kontinuierlichen Erfassung des Grundwasserpotenzials in den Grundwassermessstellen wird die zeitliche Entwicklung der Untergrundtemperaturen durch Temperaturmesslanzen gemessen (vgl. Kapitel 3.3). Den nördliche Rand des 2D-vertikal-ebenen Modells bildet der Lehnitzsee.

Im Süden wird der Schnitt von einem Pumpbrunnen des Wasserwerks, dem Brunnen 3d, begrenzt (Bild 2).

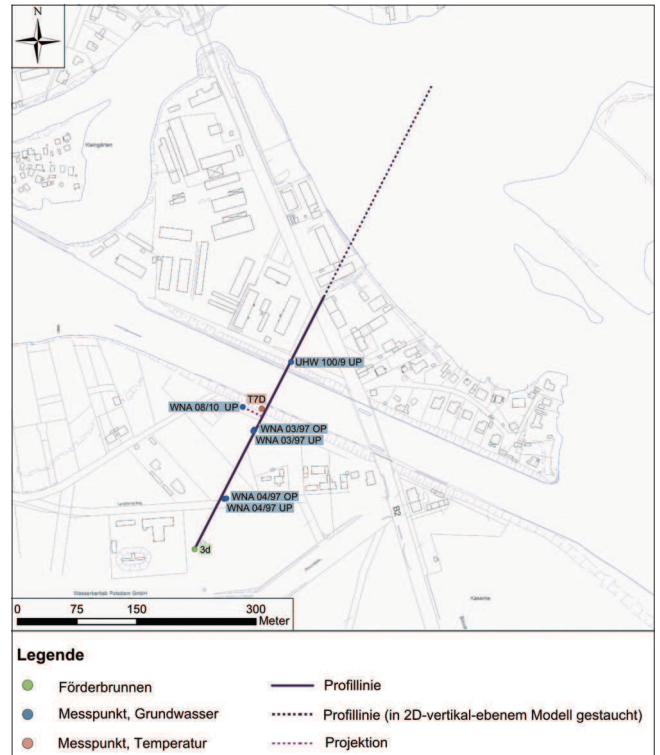


Bild 2: Lage des 2D-vertikal-ebenen Strömungsmodells (Quelle: Döttling, 2014)

Figure 2: Position of 2D vertical plane flow model (Source: Döttling, 2014)

Bild 3 (a) zeigt einen Profilschnitt durch die Messstellen UHW 100/09 UP, WNA 08/10 UP, WNA 03/97 OP/UP, WNA 04/97 OP/UP sowie den Förderbrunnen 3d. In Bild 3 (b) sind außerdem die hydraulischen Gradienten, basierend auf Medianwerten des Zeitraums 09/2012 bis 09/2013, zwischen den verschiedenen betrachteten Grundwassermessstellen dargestellt.

In allen in Bild 3 (a) dargestellten Bohrungen wurden neben Fein- bis Mittel- und Grobsand auch geringdurchlässigere Horizonte angetroffen, die als Geschiebemergel oder Schluffe angesprochen wurden. Ob es sich hierbei um durchgehende Lagen oder um kleine Linsen handelt, ist anhand der Bohrprofile nicht zu erkennen. Die Messstellen, welche im oberen Grundwasserleiter (GWL I) verfiltert sind, zeigen zwischen WNA 03/97 OP und WNA 04/97 OP ein Grundwasserpotenzialgefälle von 13,2% (Bild 3 (b)). An den Messstellen, die im unteren Grundwasserleiter (GWL II) verfiltert sind, liegt zwischen WNA 03/97 UP und WNA 04/97 UP ein deutlich steilerer hydraulischer Gradient vor (Gefälle: 34,2%).

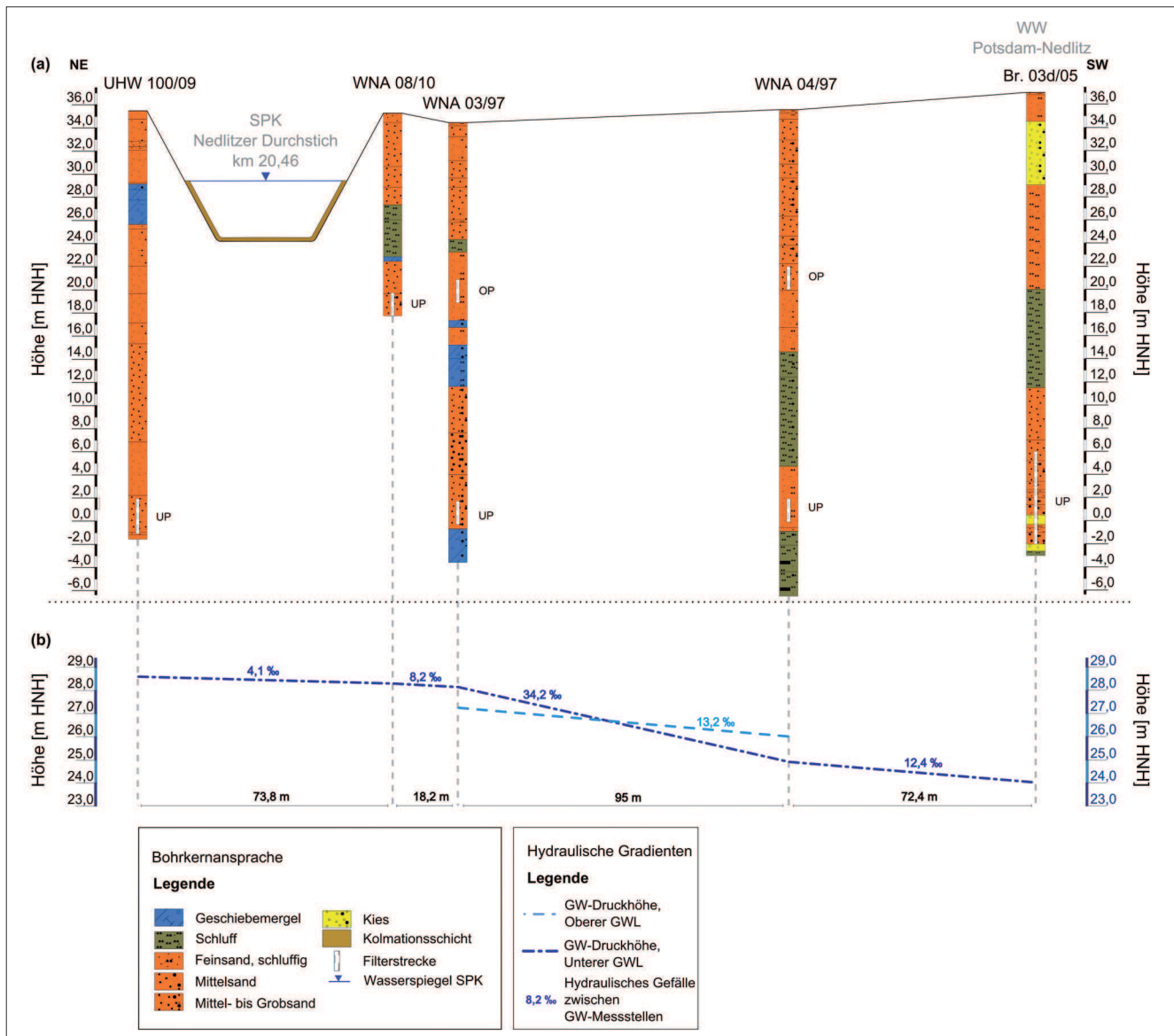


Bild 3: (a) Bohrkerneansprache der Messstellen entlang des Profilschnitts (UHW 100/09 UP, WNA08/10 UP, WNA 03/97 OP/UP, WNA04/97 OP/UP, sowie Förderbrunnen 3d); (b) Verlauf der hydraulischen Gradienten zwischen den verschiedenen Messstellen (Quelle: Döttling, 2014, verändert)

Figure 3: (a) Analysis of cores taken at the measuring points along the profile section (UHW 100/09 UP, WNA08/10 UP, WNA 03/97 OP/UP, WNA04/97 OP/UP and well 3d); (b) development of hydraulic gradients between measuring points (Source: Döttling, 2014, modified)

Zwischen UHW 100/09 UP und WNA 08/10 UP (4,1 ‰), WNA 08/10 UP und WNA 03/97 UP (8,2 ‰) sowie zwischen WNA 04/97 UP und dem Pumpbrunnen ganz im Süden (12,4 ‰) ist das Grundwassergefälle im Vergleich dazu deutlich geringer. Ein großer Potenzialunterschied zwischen Messpunkten (vgl. WNA 03/97 UP und WNA 04/97 UP) kann durch einen dazwischenliegenden Bereich geringerer Durchlässigkeit, wie beispielsweise Geschiebemergel, begründet sein. Diese Überlegung, sowie die in den Bohrprofilen enthaltenen geologischen Informationen, bilden nachfolgend die Basis für die Erstellung eines 2D-vertikal-ebenen Konzeptmodells.

4.2 Modellaufbau

Model setup

Im numerischen Modell wird ein Profil von 645 m Länge dargestellt. Dabei wird der 351 m lange Bereich zwischen Nedlitzer Durchstich und Wasserwerksbrunnen entsprechend den natürlichen Längenverhältnissen abgebildet, während der nördliche Abschnitt von 294 m Länge im Modell gestaucht repräsentiert wird und dabei die hydraulische Durchlässigkeit entsprechend transformiert wurde. Die Höhe des Modells sowie die Mächtigkeiten der geologischen Schichten sind

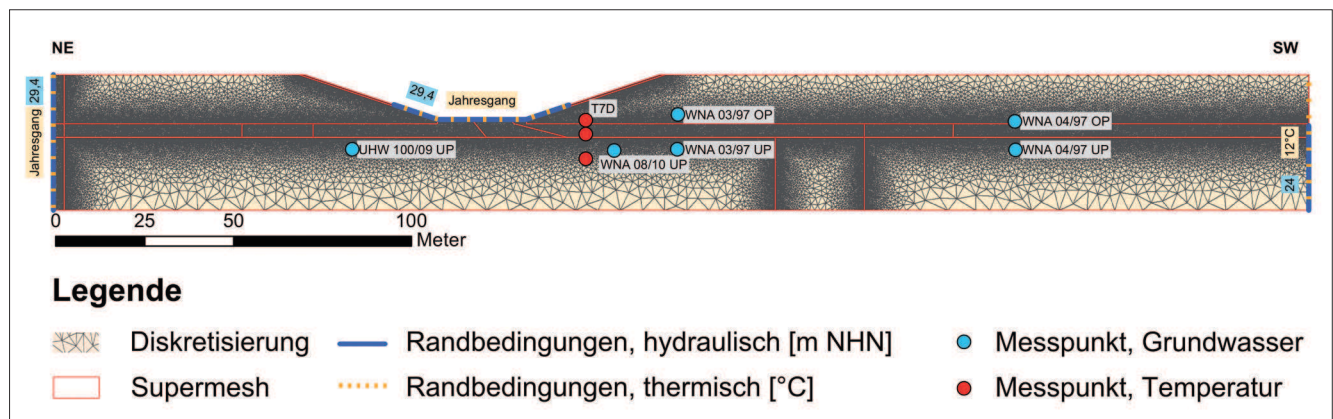


Bild 4: 2D-vertikal-ebenes Modell; an den Rändern der verschiedenen Homogenbereiche ist eine feinere Diskretisierung angelegt; visualisiert sind auch die für die Modellberechnungen gewählten Randbedingungen sowie die Messpunkte für Untergrundtemperatur und Grundwasserstand (Quelle: Döttling, 2014)

Figure 4: 2D vertical plane model with finer discretisation at the edges of the homogeneous areas. The boundary conditions selected for the model calculations and the points at which the subsurface temperature and groundwater levels are measured are also shown (Source: Döttling, 2014)

Näherungen – es wurde hier auf ein passendes relatives Verhältnis der Mächtigkeiten zueinander geachtet. Im 2D-vertikal-ebenen Modell sind vereinfacht drei hydrogeologische Einheiten abgebildet – der GWL I, der zwischengelagerte geringleitende Geschiebemergel, sowie der GWL II. Als hydraulische Randbedingungen (stationär) wurden der Havelwasserstand von 29,4 m NHN (Medianwert täglicher Messungen 09/2012-09/2013) am Nedlitzer Durchstich und am nördlichen Modellrand, dem Lehnitzsee, und der am Förderbrunnen ermittelte Wasserstand von 24 m NHN (Medianwert dreistündliche Messungen 09/2012-09/2013) am südlichen Modellrand angelegt (Bild 4).

Als thermische Randbedingung (instationär) wurde der jahreszeitliche Temperaturverlauf der Havel für den Zeitraum von September 2012 bis September 2013 am nördlichen Modellrand und im Nedlitzer Durchstich vorgegeben. Am südlichen Modellrand wurde die ungestörte Grundwassertemperatur im Untersuchungsgebiet (12°C) angesetzt. In Tabelle 1 sind die festgelegten Randbedingungen tabellarisch zusammengestellt.

Zur Bewertung der Modellergebnisse wurden die in den Bildern 2 und 4 dargestellten sechs GW-Messstellen und drei Temperaturmesspunkte herangezogen.

Randbedingungen, hydraulisch		Wasserstand [m NHN]	Beschreibung
Modellrand, links	RB 1. Art (Dirichlet)	29,4	Oberflächenwasserstand, Havel
Kanalsohle	RB 1. Art (Dirichlet)	29,4	Oberflächenwasserstand, Havel
Modellrand, rechts	RB 1. Art (Dirichlet)	24,0	Grundwasserstand am Förderbrunnen (Median)
Randbedingungen, thermisch		Temperaturwert [°C]	Beschreibung
Modellrand, links	definierte Temperatur	Jahresgang, Sept. 2012 - Sept. 2013	—
Kanalsohle	definierte Temperatur	Jahresgang, Sept. 2012 - Sept. 2013	—
Modellrand, rechts	definierte Temperatur	12,0	ungestörte GW-Temperatur im Untersuchungsgebiet

Tabelle 1: Übersicht über die Randbedingungen, die für das 2D-vertikal-ebene Modell definiert wurden (Quelle: Döttling, 2014)
Table 1: Summary of the boundary conditions defined for the 2D vertical plane model (Source: Döttling, 2014)

Die hydraulische Durchlässigkeit der einzelnen Modellschichten wurde anhand des hydrogeologischen Konzeptmodells zugeordnet (vgl. Kapitel 3.1). Die beiden grundwasserleitenden Schichten GWL I und GWL II, die dazwischenliegende geringer durchlässige Geschiebemergelschicht, sowie eine potenzielle Kolmationsschicht an der Gewässersohle wurden dabei explizit im Modell abgebildet.

Im Zuge der Konzeptstudie sollten qualitative Betrachtungen zu den Fließprozessen im Untergrund erfolgen. Dieses grundlegende Prozessverständnis zur prinzipiellen Strömungssituation im Untersuchungsgebiet bildet eine wichtige Grundlage für die spätere Erstellung räumlich höher aufgelöster 3D-Grundwasserströmungs- und Transportmodelle, besonders im Hinblick auf kleinräumige Modellierungen im Bereich zwischen dem Nedlitzer Durchstich und dem Wasserwerk. Mit einem 2D-vertikalen Schnittmodell können für das im Rahmen dieser Arbeit betrachtete Untersuchungsgebiet keine quantitativen Aussagen gemacht werden, da die Grundwasserströmungsprozesse hier durch eine dreidimensionale Strömungssituation charakterisiert wird.

5 Ergebnisse

Results

Zunächst wurde eine stationäre Grundwasserströmungssimulation durchgeführt, bei der eine qualita-

tive Anpassung der berechneten an die gemessenen Grundwasserstände vorgenommen wurde. Die Verteilung der hierdurch erhaltenen k_f -Werte wird in Bild 5 dargestellt.

An der gesamten Kanalsole wurde im Zuge der Anpassung von einer kontinuierlich ausgebildeten Kolmationsschicht ausgegangen. An der südwestlichen Seite des Kanals ist die Durchlässigkeit der Kolmationsschicht etwas größer als in der Mitte und im Nordosten des Kanals. Die k_f -Werte im oberen und unteren Grundwasserleiter wurden dabei auf Basis der Ergebnisse der hydraulischen Erkundungsmaßnahmen (vgl. Kapitel 3.1) zugeordnet. Die zugewiesene hydraulische Durchlässigkeit der Geschiebemergelschicht beruht auf den Ergebnissen von Kornverteilungsanalysen und Permeameterversuchen, die im Vorfeld der Modellerstellung durchgeführt wurden (Strasser et al., 2015). Wie vorliegende Bohrprofile zeigen, ist im Bereich der Kanalsole Geschiebemergel anstehend (GCI GmbH, 2013). Dies wurde auch auf das Modell übertragen.

In GWL II ist ein Bereich abgegrenzt, dem eine um eine Größenordnung geringere hydraulische Durchlässigkeit zugewiesen wurde. Dies ist eine mögliche Lösung für die Darstellung des relativ steilen hydraulischen Gradienten zwischen Messstelle WNA 03/97 UP und WNA 04/97 UP. Um die berechnete hydraulische Situation an die gemessene anzupassen, müssen außerdem hydraulisch wirksame Fenster in der Geschiebemergelschicht

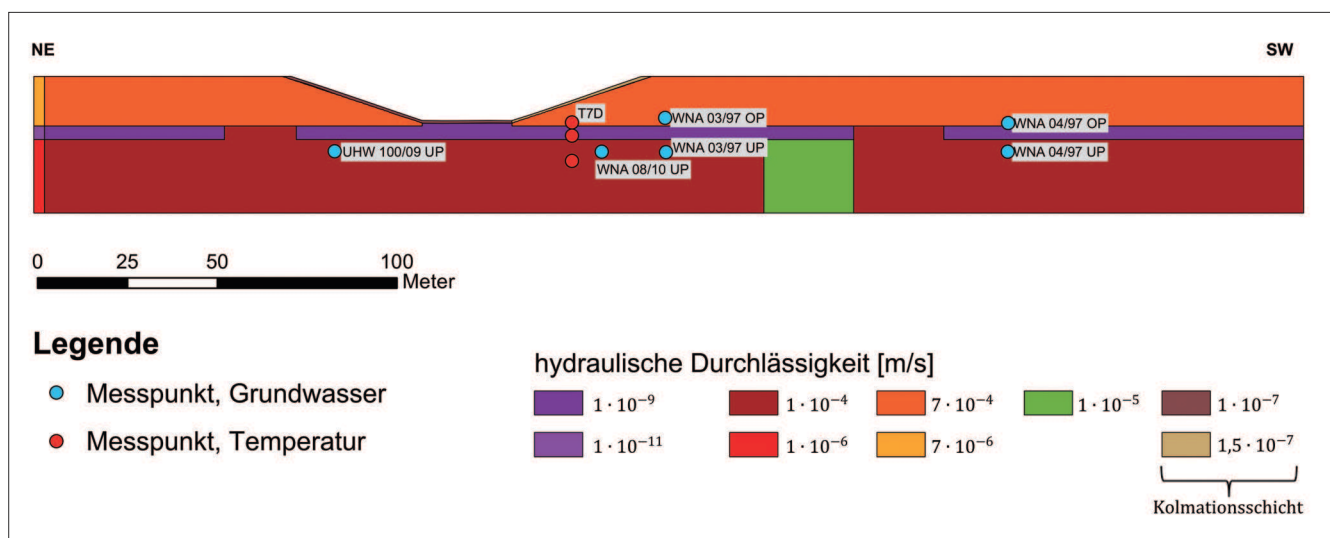


Bild 5: Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeit, wie sie in Modelldurchlauf 1 der 2D-vertikal-ebenen Strömungsmodellierung gewählt wurde (Quelle: Döttling, 2014)

Figure 5: Distribution of the hydraulic conductivity as selected for model run 1 in the 2D vertical plane flow model (Source: Döttling, 2014)

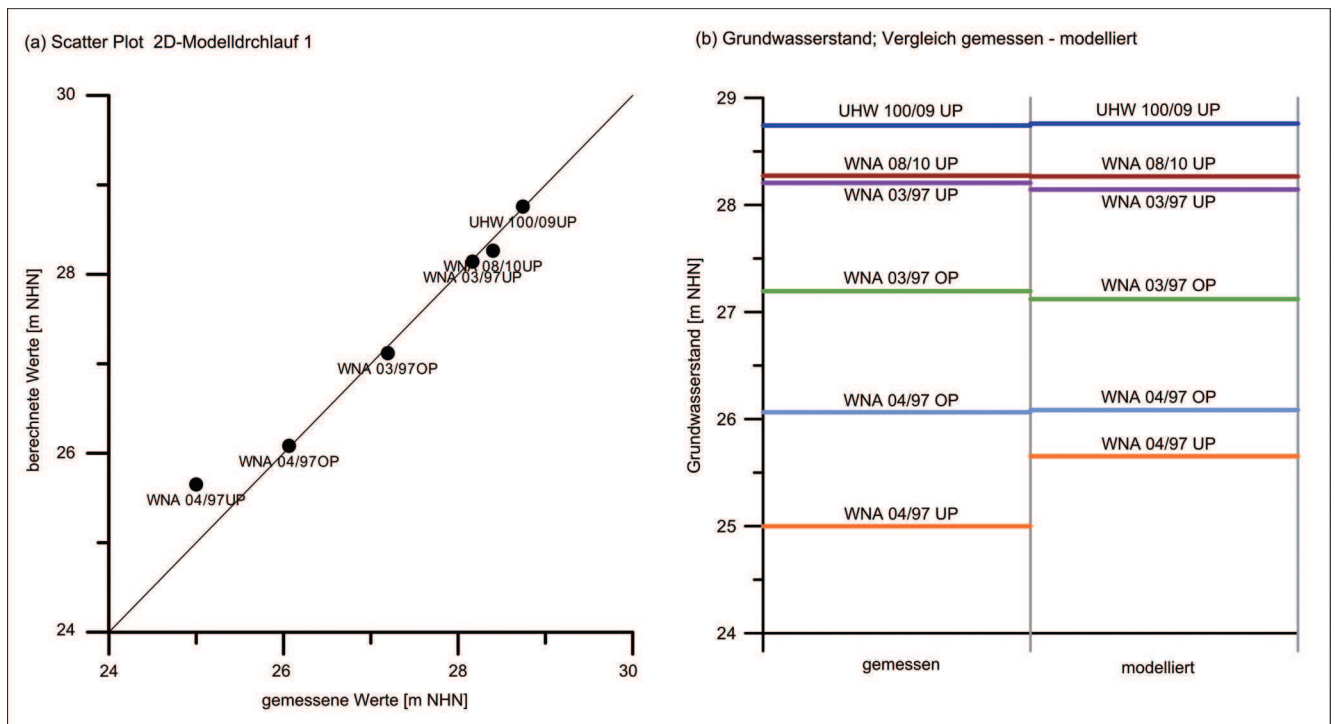


Bild 6: (a) Scatter Plot der gemessenen und der berechneten Grundwasserstände von Modell 1; (b) Gegenüberstellung der relativen Verteilung der gemessenen und modellierten Werte (Quelle: Döttling, 2014)

Figure 6: (a) Scatter plot of the measured and calculated groundwater levels for model 1; (b) Comparison of the relative distribution of the measured and modelled values (Source: Döttling, 2014)

berücksichtigt werden, an welchen die Grundwasserleiter GWL I und GWL II in direktem hydraulischen Kontakt zueinander stehen. Der im Vergleich aller hier betrachteten Grundwassermessstellen höchste Wasserstand an UHW 100/09 UP kann durch das linke Fenster in der Geschiebemergelschicht mit dem Modell abgebildet werden. Das hydraulisch wirksame Fenster in der Geschiebemergelschicht auf der rechten Seite des Modells erlaubt es, das höher hydraulische Potenzial an WNA 03/97 UP als an WNA 03/97 OP in den Modellberechnungen wiederzugeben. Die mit dem Modell berechneten Grundwasserstände werden in Bild 6 den Messwerten gegenübergestellt. Das zugehörige Bestimmtheitsmaß liegt bei $R^2 = 0,5457$. Die Ergebnisse belegen, dass sich mit der gewählten Verteilung der hydraulischen Leitfähigkeiten die prinzipielle Potenzialverteilung in dem untersuchten Schnitt mit dem 2D-Grundwasserströmungsmodell nachvollziehen lässt.

Die modellierte hydraulische Potenzialverteilung der ersten Modellkalibrierung wird in Bild 7 dargestellt.

Da für den untersuchten Schnitt nicht nur die gemessenen Grundwasserstände sondern auch die Verläufe der Bodentemperatur vorliegen, wurden die Grund-

wasserströmungsberechnungen um eine instationäre Wärmetransportmodellierung erweitert. Die Aufzeichnungen der Temperaturmesslanze T7D (Lage s. Bild 2) werden in Bild 8 der mit dem Modell berechneten Verläufe der Untergrundtemperatur gegenübergestellt. Mit der im ersten Kalibrierungsschritt nur anhand der Grundwasserpotenzialverteilung kalibrierten Durchlässigkeitsverteilung und den vorgegebenen thermischen Eigenschaften konnte der Jahresgang der gemessenen Untergrundtemperatur jedoch nicht annähernd mit dem Modell beschrieben werden.

Die Ganglinien der berechneten Untergrundtemperatur in verschiedenen Tiefen zeigen ein völlig anderes Verhalten als die gemessenen Temperaturverläufe. Insbesondere die geringere Dämpfung des Temperatursignals im unteren Grundwasserleiter GWL II im Vergleich zum oberen Grundwasserleiter GWL I konnte in den Modellberechnungen nicht dargestellt werden. Daher wurde ein zweiter Kalibrierungsschritt erforderlich, bei der die Modellanpassung nicht nur anhand der gemessenen Grundwasserpotenzialverteilung sondern ebenfalls anhand der gemessenen Verläufe der Bodentemperatur erfolgte. Die sich hierbei ergebende Durchlässigkeitsverteilung im Modell ist in Bild 9 dargestellt.

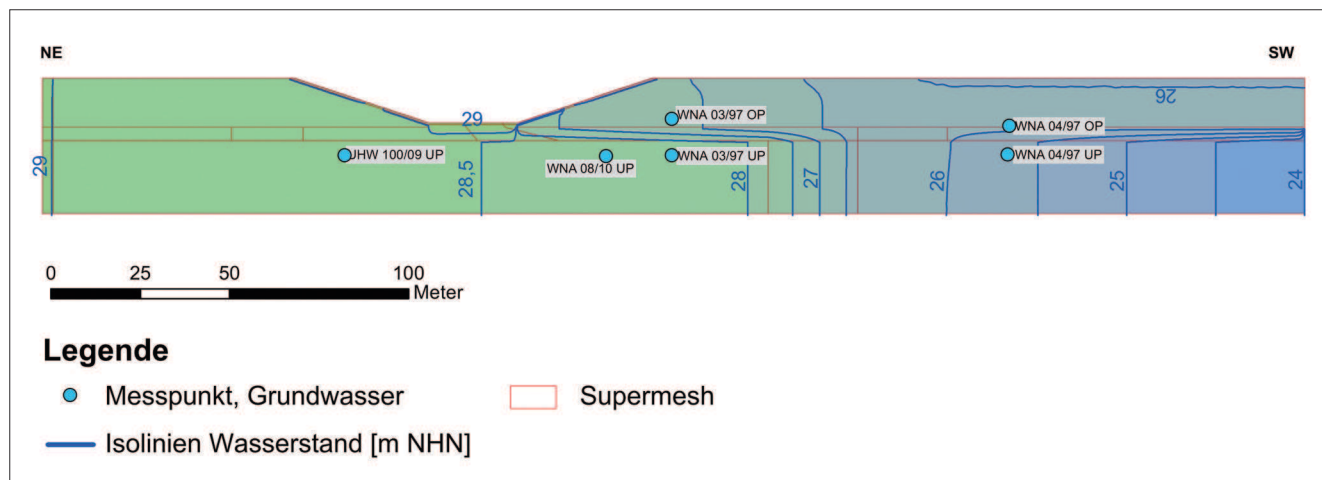


Bild 7: Isolinien der modellierten Grundwasserhöhen in Modell 1 (Quelle: Döttling, 2014)

Figure 7: Isolines of the modelled groundwater levels in model 1 (Source: Döttling, 2014)

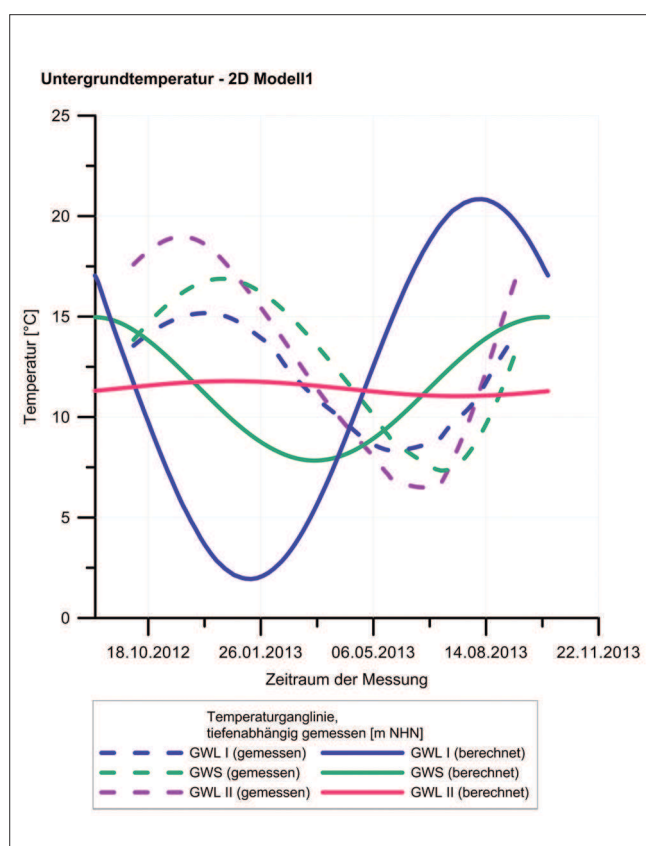


Bild 8: Gegenüberstellung der Untergrundtemperatur (gemessen und berechnet, T7D) von Modelldurchlauf 1; gemessen wurde in drei verschiedenen Tiefen, die GWL I, den zwischengelagerten Grundwassergeringleiter sowie GWL II repräsentieren (Quelle: Döttling, 2014, verändert)

Figure 8: Comparison of the subsurface temperature (measured and calculated, T7D) in model run 1, measured at three different depths, representing aquifer GWL I, the intermediate aquitard and aquifer GWL II (Source: Döttling, 2014, modified)

Ein hydraulisches Fenster in der Kolmations- und der Geschiebemergelschicht direkt unterhalb des Kanals ermöglicht im Modell die direkte Infiltration von Oberflächenwasser in den unteren Grundwasserleiter GWL II. Außerdem wurde im Zuge der Modellanpassung nun die Durchlässigkeit der Kolmationsschicht an der rechten Kanalseite etwas verringert ($k_f = 1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$). Hierdurch wird die Ausbreitung des Temperatursignals in GWL I im Modell stärker gedämpft. Eine weitere Veränderung der hydraulischen Durchlässigkeit wurde für das Fenster in der Geschiebemergelschicht auf der rechten Modellseite vorgenommen. Die Durchlässigkeit wurde hier auf $5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ verringert. Derselbe k_f -Wert wurde im GWL II zwischen WNA 03/97 UP und WNA 04/97 UP im Zuge der Modellkalibrierung ermittelt, um den hydraulischen Gradienten zwischen diesen Messstellen weiterhin darstellen zu können.

Der sich ergebende Scatter Plot für den zweiten Kalibrierungsschritt ist in Bild 10 (a) dargestellt. Das Bestimmtheitsmaß beträgt nun noch $R^2 = 0,46$ und belegt damit eine etwas schlechtere Modellanpassung als im ersten Kalibrierungsschritt. In Bild 10 (b) sind die Grundwasserstände der Messstellen relativ zueinander dargestellt. Auch wenn die berechneten Grundwasserstände nun eine jeweils etwas größere Abweichung von den Messwerten aufweisen als im ersten Kalibrierungsschritt wird die richtige Reihung der GW-Stände mit dem Modell berechnet, sodass davon auszugehen ist, dass die prinzipielle Strömungssituation weiterhin richtig beschrieben wird.

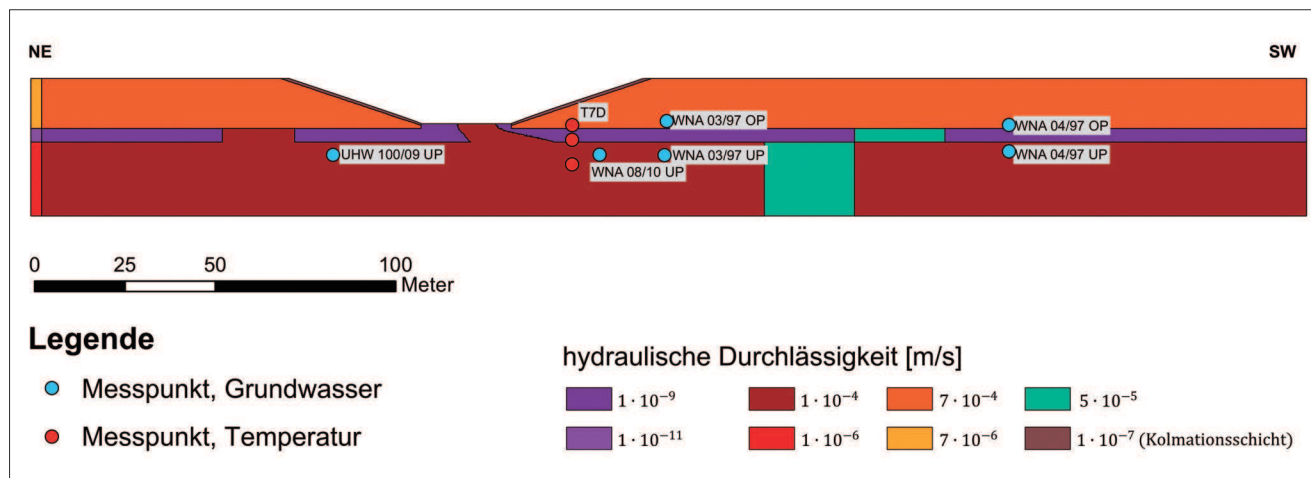


Bild 9: Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeit, wie sie in Modelldurchlauf 2 der 2D-vertikal-ebenen Strömungsmodellierung gewählt wurde (Quelle: Döttling, 2014)

Figure 9: Distribution of the hydraulic conductivity as selected for model run 2 of the 2D vertical plane flow model (Source: Döttling, 2014)

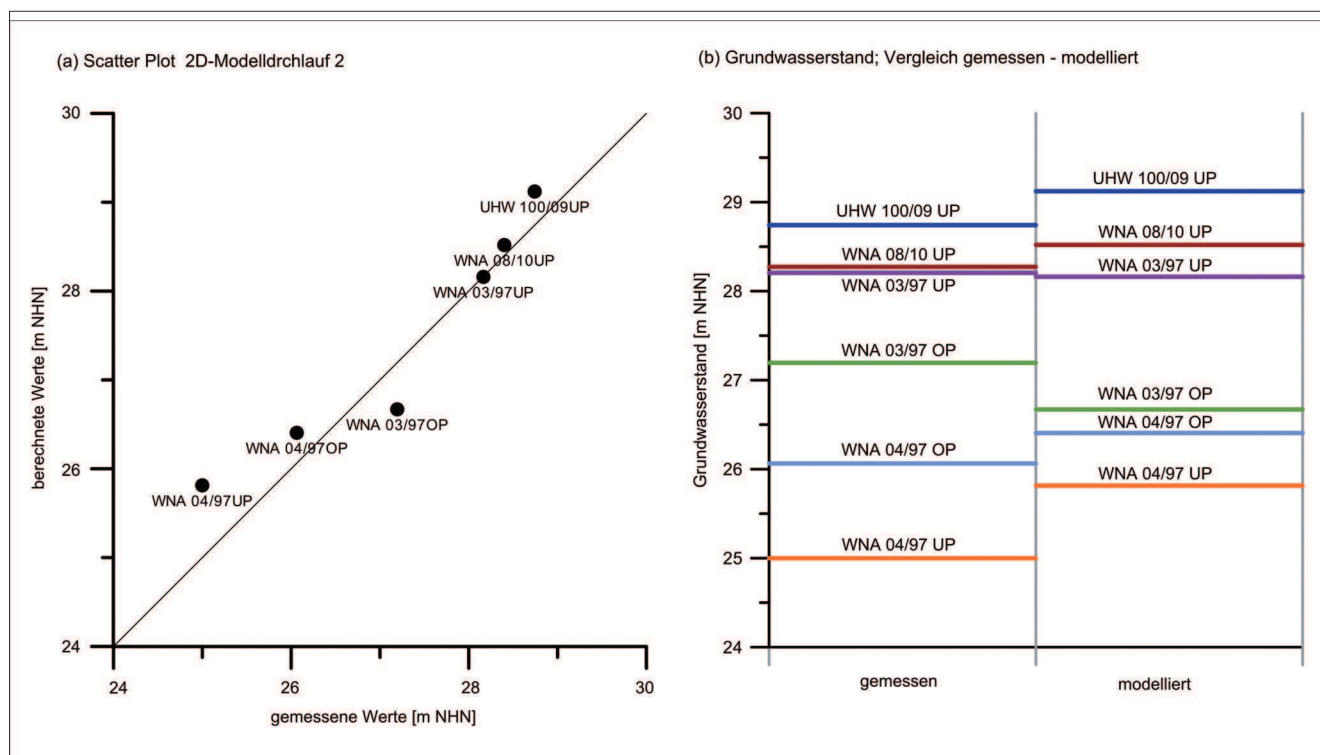


Bild 10: (a) Scatter Plot der gemessenen und der berechneten Grundwasserstände von Modell 2; (b) Gegenüberstellung der relativen Verteilung der gemessenen und modellierten Werte (Quelle: Döttling, 2014)

Figure 10: (a) Scatter plot of the measured and calculated groundwater levels for model 2; (b) Comparison of the relative distribution of the measured and modelled values (Source: Döttling, 2014)

Wie in Bild 11 ersichtlich ist, hat sich die ermittelte Grundwasserpotenzialverteilung im Vergleich zur ersten Modellkalibrierung (s. Bild 7) verändert. Im gesamten Areal nördlich des Kanals liegt der berechnete Wasserstand nun bei 29,4 m NHN. Dies lässt sich durch die direkte hydraulische Verbindung zwischen Kanal und

Untergrund erklären, die durch den partiellen Wegfall der Kolmationsschicht und des Geschiebemergels an der Kanalsohle begründet ist. Der hydraulische Gradient im unteren Grundwasserleiter zwischen Kanal und Förderbrunnen wird somit im Vergleich zu Modelldurchlauf 1 steiler.

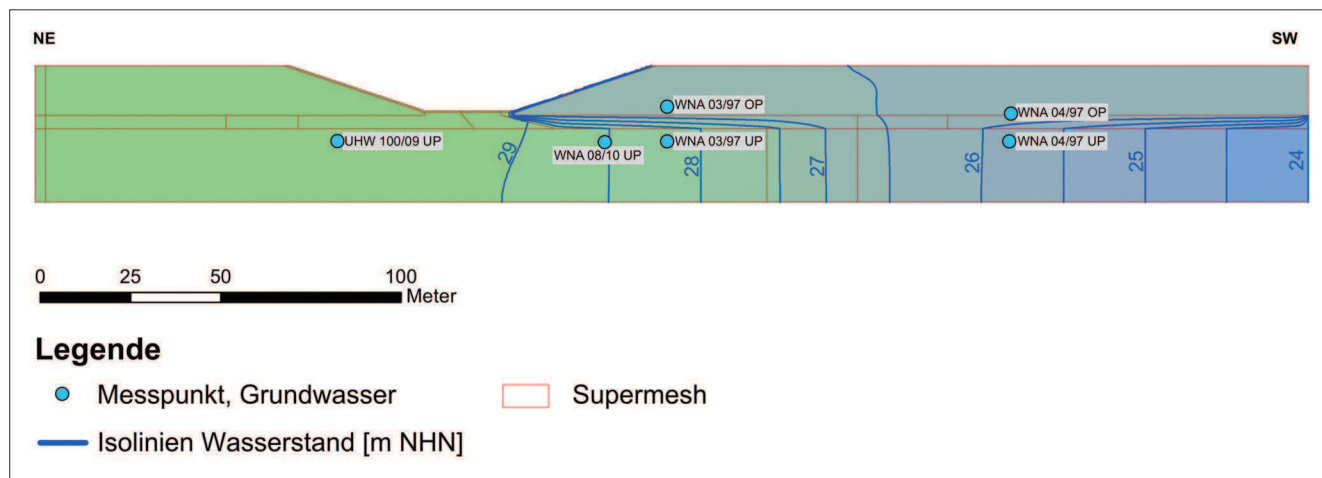


Bild 11: Isolinen der modellierten Grundwasserhöhen in Modell 2 (Quelle: Döttling, 2014)

Figure 11: Isolines of the modelled groundwater levels in model 2 (Source: Döttling, 2014)

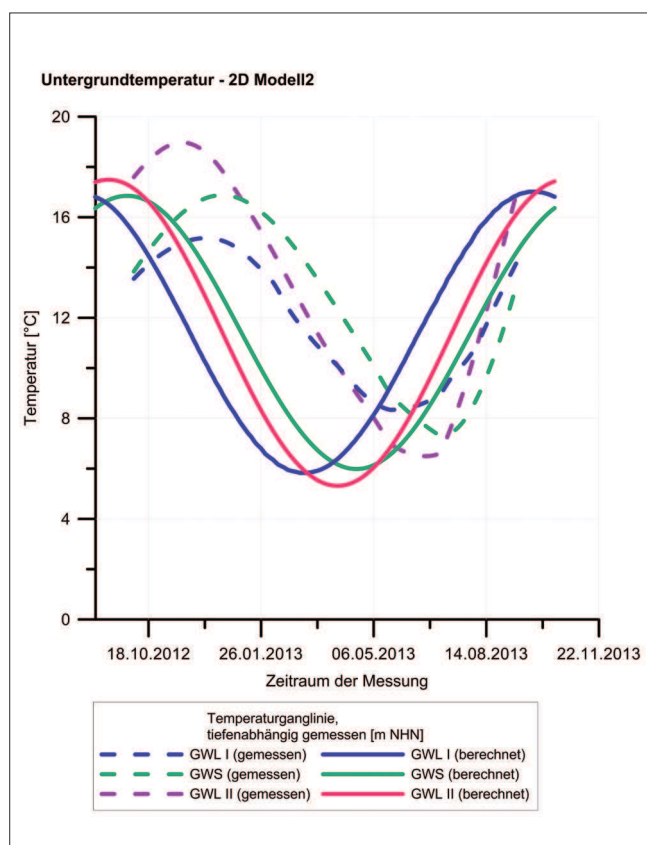


Bild 12: Gegenüberstellung der Untergrundtemperatur (gemessen und berechnet) von Modelldurchlauf 2; gemessen wurde in drei verschiedenen Tiefen, die GWL I, den zwischengelagerten Grundwassergeringleiter sowie GWL II repräsentieren (Quelle: Döttling, 2014, verändert)

Figure 12: Comparison of the subsurface temperature (measured and calculated) in model run 2; measured at three different depths, representing aquifer GWL I, the intermediate aquitard and aquifer GWL II (Source: Döttling, 2014, modified)

In Bild 12 werden die mit der zweiten Modellkalibrierung berechneten Verläufe der Untergrundtemperatur den am Messpunkt T7D gemessenen Temperaturen gegenübergestellt. Die tiefenabhängigen Ankunftszeiten der berechneten Untergrundtemperatur entsprechen nun der relativen Verteilung der Ankunftszeiten der gemessenen Temperaturganglinien. Auch die Dämpfung im oberen Grundwasserleiter, dem Grundwassergeringleiter und dem unteren Grundwasserleiter kann äquivalent zu den in der Natur gemessenen Daten berechnet werden. Die Abbildung der relativen Verteilung der Grundwasserstände an den verschiedenen Beobachtungspunkten ist auch in diesem Modelldurchlauf weiterhin möglich. Eine exakte Reproduzierung der Messergebnisse für GW-Stand und Temperatur konnte im Zuge der zweiten Modellkalibrierung allerdings nicht erzielt werden.

6 Schlussfolgerungen Conclusions

Die durchgeführten konzeptionellen 2D-vertikal-ebenen Strömungs- und Wärmetransportmodellierungen zeigen, dass die geohydraulischen und thermischen Prozesse im Untergrund qualitativ abgebildet werden konnten. Insbesondere durch die Berücksichtigung der Temperatur als zusätzlicher Parameter für die Modellkalibrierung konnten die Vorstellungen zur Strömungs- und Transportsituation im Untersuchungsgebiet substantiell verbessert werden.

Aufgrund des betont dreidimensionalen Charakters des Grundwasserfließfeldes konnten mit den vereinfachten 2D-Strömungs- und Transportmodellierungen jedoch keine quantitativen Aussagen für das betrachtete Untersuchungsgebiet getroffen werden. Hierzu ist bei entsprechend komplexen Strömungssituationen die Erstellung dreidimensionaler Untergrundmodelle erforderlich. Die vorgestellten instationären 2D-vertikal-ebenen Grundwasserströmungs- und Wärmetransportmodellierungen lieferten aber gut abgesicherte, prinzipielle Vorstellungen zur Strömungssituation und den Fließzeiten im zentralen Untersuchungsgebiet zwischen dem Nedlitzer Kanaldurchstich und dem Wasserwerk. Auf Grundlage der gezeigten Ergebnisse wurden im Anschluss mehrere dreidimensionale Grundwasserströmungs- und Wärmetransportmodelle erstellt, mit denen der Einfluss der Baumaßnahmen am Nedlitzer Durchstich auf den Wasser- und Stoffaustausch zwischen Kanal und Grundwasser abgebildet werden konnte.

7 Literatur *References*

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) (1999): Baugrund- und Gründungsgutachten, Untere Havel-Wasserstraße – Sacrow-Paretzer-Kanal – km 19,90 bis km 23,30. Gutachten.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2008): Grundwasser in Deutschland. Reihe: Broschüren/Faltblätter, Berlin.

Deutsche Gesellschaft für Geowissenschaften, Fachsektion Hydrogeologie (DGG) (2010): Hydrogeologische Modelle: Bedeutung des Hydrogeologischen a priori-Wissens. Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Schweizerbart, Stuttgart.

Döttling, V. (2014): Numerische 3D-Grundwasserströmungsmodellierung im Bereich des Uferfiltratswasserwerks Potsdam-Nedlitz. Karlsruher Institut für Technologie, Masterarbeit, unveröffentlicht.

Hazen, A. (1892): Some Physical Properties of Sands and Gravels with Special Reference to their Use in Filtration. Twenty-fourth Annual Report of State Board of Health Mass, 541-566.

Heeling, A. (2014): Vom Aufschluss zum Baugrundmodell. Tagungsband, 65. Deutsche Brunnenbauertage und BAW-Baugrundkolloquium, Rostrup / Bad Zwischenahn.

IHU Geologie und Analytik GmbH (2009): Gefahrenabwehrmaßnahme Wasserwerk Potsdam-Nedlitz und ehemalige WGT-Liegenschaft „Graue Kaserne“ (PM 118). Sanierungsuntersuchung und Sanierungsplanung CKW-Schaden im unteren Grundwasserleiter, Potsdam-Nedlitz, Sanierungsplan, Gutachten.

Kühlers, D. (2012): Einfluss eines Hochwasserretentionsraums auf den Anteil infiltrierten Flusswassers in Grundwasser-Entnahmefrühen. Dissertation, Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften, Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe, Brandenburg (LGBR) (2010): Atlas zur Geologie von Brandenburg im Maßstab 1 : 1.000.000, 4. aktualisierte Auflage, Cottbus.

Molina-Giraldo, N.; Bayer, P.; Blum, P. & Cirpka, O. A. (2011): Propagation of Seasonal Temperature Signals into an Aquifer upon Bank Infiltration. Ground Water, 49 (4), 491-502.

Preußische Geologische Landesanstalt (1882): Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten, 1 : 25.000; Sect. Fahrland, Blatt 3544 (neue Nr.), Berlin.

Schulz-Terfloth, G. (1987): Untersuchungen zur Wechselbeziehung zwischen Oberflächengewässern und dem Grundwasser. Dissertation, TU Berlin.

Strasser, D.; Lensing, H.-J.; Nuber, T.; Richter, D.; Frank, S.; Goeppert, N.; Goldscheider, N. (2015): Improved geohydraulic characterization of river bed sediments based on freeze-core sampling – Development and evaluation of a new measurement approach. Journal of Hydrology, 527, 133-14.

